

# РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ВЕРХНИМ ПРИВОДОМ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН С БОЛЬШИМ ОТКЛОНЕНИЕМ ОТ ВЕРТИКАЛИ

УДК 62-523

**О.В. Никулин**, к.т.н., ООО «УК «Татбурнефть» (Альметьевск, РФ),  
oleg309@yandex.ru

**А.А. Удовенко**, Альметьевский государственный нефтяной  
институт (Альметьевск, РФ), tasy1996@mail.ru

**В.С. Карабута**, Санкт-Петербургский горный университет  
(Санкт-Петербург, РФ), luxury@mail.ru

В статье рассмотрен способ бурения скважин с большим отклонением от вертикали забойными двигателями с применением системы верхнего привода. Показано, что для передачи нагрузки на долото в скважинах с большим отклонением от вертикали бурильной колонне необходимо преодолевать значительные силы статического трения. Для преодоления сил статического трения предложено поддерживать постоянное движение бурильной колонны путем ее вращения в обоих направлениях с постоянной скоростью, используя систему верхнего привода. Бурильная колонна представлена как длинная эластичная лента, при закручивании которой крутящий момент достигает компоновки низа бурильной колонны через определенное количество оборотов. Информацию о достижении крутящего момента низа колонны бурильных труб предложено получать от датчика момента забойной телесистемы. После первого закручивания бурильной колонны число оборотов запоминается, а число оборотов в обратную сторону (из закрученного состояния) и затем назад будет в два раза больше для обеспечения одинакового числа оборотов в обоих направлениях вращения бурильной колонны при реализации способа бурения с поддержанием постоянного движения колонны.

Разработан алгоритм управления режимом бурения верхним приводом и забойным двигателем, структурная схема электропривода системы верхнего привода с преобразователем частоты, асинхронным двигателем и программируемым логическим контроллером. Предложено использование регулятора возврата бурильной колонны, реализованного в программируемом логическом контроллере, регуляторов скорости и тока. При этом используется программируемый логический контроллер в существующей системе управления.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** СКВАЖИНА, ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ВЕРТИКАЛИ, АЛГОРИТМ, СТРУКТУРНАЯ СХЕМА, ЭЛЕКТРОПРИВОД, СИСТЕМА ВЕРХНЕГО ПРИВОДА.

Современные технологии в бурении скважин, в частности наклонно-направленное бурение с большим отклонением от вертикали, бурение горизонтальных скважин, многозабойные горизонтальные скважины, использование ранее пробуренных скважин, находящиеся в простое из-за аварий или нерентабельности, путем реконструкции скважин с использованием бурения боковых стволов увеличивают требования к электроприводу и системам автоматического управления. В связи с повышен-

ными требованиями к регулируемым электроприводам главных механизмов – буровым насосам, лебедкам, роторам, системам верхнего привода – актуально решение задач автоматизации и роботизации технологических процессов бурения с использованием средств автоматического управления этими электроприводами [1, 2]. Одним из широко используемых способов бурения нефтяных и газовых скважин в последнее время стало бурение с использованием системы верхнего привода. Сегодня этой

системой оснащаются буровые установки как за рубежом, так и в Российской Федерации.

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ВЕРХНЕГО ПРИВОДА

Система верхнего привода представляет собой силовой вертлюг, который оснащен комплектом средств механизации спуско-подъемных операций, регулируемым электроприводом и системой автоматического управления. Использование системы верхнего привода позволяет отказаться от ведущей буриль-

**O.V. Nikulin**, Candidate of Sciences (Engineering), Managing Company Tatburneft LLC (Almetyevsk, Russian Federation), oleg309@yandex.ru

**A.A. Udovenko**, Almetyevsk State Oil Institute (Almetyevsk, Russian Federation), tasy1996@mail.ru

**V.S. Karabuta**, Saint Petersburg Mining University (Saint Petersburg, Russian Federation), luxyra@mail.ru

### Development of the algorithm of management of the top drive for drilling wells with a big division from the vertical

The article describes the method of drilling wells with a large deviation from the vertical by downhole motors using the top drive system. It is shown that to transfer the load on the bit in wells with a large deviation from the vertical, the drill string must overcome significant static friction forces. To overcome the static friction forces, it was proposed to maintain a constant movement of the drill string by rotating it in both directions at a constant speed using an upper drive system. The drill string is represented as a long elastic band, when tightened, the torque reaches the bottom-hole assembly through a certain number of revolutions. Information about the achievement of the torque of the bottom of the drill pipe is proposed to receive from the moment sensor downhole telesystem. After the first twisting of the drill string, the number of revolutions is remembered, and the number of revolutions in the opposite direction (from the twisted state) and then back will be twice as much to ensure the same number of revolutions in both directions of rotation of the drill string when implementing the drilling method with maintaining the column in constant motion.

The algorithm for controlling the drilling mode by the upper drive and the downhole motor, a block diagram of an electric drive system for the upper drive with frequency converter, asynchronous motor and programmable logic controller was developed. The use of a return string controller, implemented in the programmable logic controller, speed and current controllers is proposed. It uses a programmable logic controller in the existing control system.

**KEYWORDS:** WELL, VERTICAL DIFFERENCE, ALGORITHM, STRUCTURED DIAGRAM, ELECTRIC DRIVE, TOP DRIVE SYSTEM.

ной трубы квадратного сечения, поскольку не требуется использование шурфа под нее, а также намного облегчается труд буровой бригады, так как элеватор автоматически подается в необходимую позицию. Вместо наращиваний одиночными трубами во время проведения спуско-подъемных операций можно наращивать бурильную колонну свечами, что в свою очередь снижает время на производство спуско-подъемных операций [3, 4].

В работе [3] показано, что электропривод системы верхнего привода в процессе строительства скважин в основном недоиспользуется по мощности. Тем не менее, ввиду высокой автоматизации системы управления, использование системы верхнего привода экономически оправдано. Система верхнего привода обеспечивает контроль и регулирование частоты вращения и момента, автоматизацию процесса бурения и проведение спуско-подъемных операций. Тематика опубликованных за последние годы работ посвящена в основном экономической целесообразности, дина-

мическим нагрузкам, возможностям внедрения в действующие буровые установки, перспективам развития и выбору типа привода [5–14].

Бурение с использованием систем верхнего привода в практике буровых компаний Российской Федерации началось относительно недавно. Например, компанией ООО «УК «Татбурнефть» система верхнего привода используется с 2013 г., поэтому энергетические показатели электропривода недостаточно изучены и актуальным является решение задач автоматизации процесса бурения в конкретных условиях бурения скважин с использованием существующего комплекса средств автоматизации систем верхнего привода [14].

Важной проблемой при бурении нижних интервалов скважин с большим отклонением от вертикали выступает обеспечение осевой нагрузки и вращающего момента на долоте в процессе преодоления сил сопротивления перемещению и вращению бурильной колонны [15]. Бурение с использованием забойного дви-

гателя гораздо сложнее вести на скважинах с большим отклонением от вертикали, чем на скважинах обычной конструкции, при одной и той же литологии.

Большие углы отклонения от вертикали приводят к большому статическому трению, которое необходимо преодолевать бурильной колонной для обеспечения необходимой нагрузки на долото. Статическое трение намного большее, чем динамическое, захватывает и удерживает бурильную колонну до достижения критической точки, в которой бурильная колонна выскальзывает, и внезапно вся нагрузка передается на долото. Это приводит к отсутствию контроля за буровым инструментом, а в случае использования алмазных долот – к значительным проблемам с остановкой забойного двигателя.

В случае сильного статического трения может произойти синусоидальное смятие, которое приведет к увеличению вышеописанного процесса. Единственный способ предотвратить отрицательное влияние статического трения на процесс бурения забойным дви-



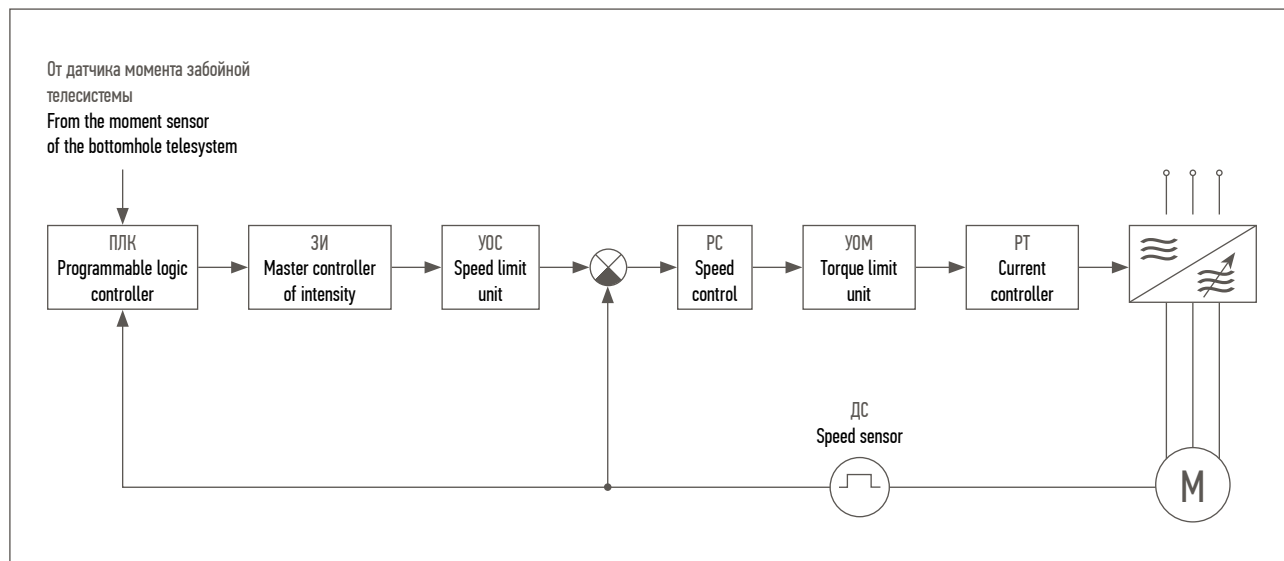


Рис. 2. Структурная схема электропривода в режиме бурения верхним приводом и забойным двигателем  
Fig. 2. Block diagram of the electric drive in the mode of drilling by the upper drive and a downhole motor

о достижении крутящего момента низа бурильной колонны может быть получена от датчика момента забойной телесистемы.

#### АЛГОРИТМ

Перед началом бурения оператором на пульте бурильщика задается частота вращения бурильной колонны  $n$ , об/мин, и выбирается режим бурения верхним приводом и забойным двигателем (РБ вкл.), включенное состояние которого является обязательным условием работы алгоритма, а отключенное – условие выхода из цикла (рис. 1).

В первом контуре алгоритма счетчиком 1 отсчитывается число оборотов  $k$  при закручивании бурильной колонны до достижения крутящего момента низа бурильной колонны – до появления сигнала от забойной телесистемы о повороте долота.

Во втором контуре производится вращение бурильной колонны в обратном направлении, но с числом оборотов, большим в два раза, чем это было определено в первом контуре. Счетчиком 2 отсчитывается число оборотов  $m$  до достижения условия  $m = 2k$ . Аналогично в третьем контуре счетчиком 3 отсчитывается число оборотов  $l$  после реверсирования

привода до выполнения условия  $l = 2k$ , после чего цикл повторяется со второго контура.

Электропривод системы верхнего привода выполнен по системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель». Электродвигатель оснащен импульсным датчиком скорости, а в системе автоматического управления преобразователя частоты реализована микропроцессорная векторная система управления. Для построения автоматизированной системы автоматического управления используются вычислительные возможности программируемого логического контроллера (рис. 2).

Сигнал задания частоты вращения формируется в программируемом логическом контроллере (ПЛК, см. рис. 2), на вход которого поступают сигналы от импульсного датчика скорости и сигнал о достижении крутящего момента низа бурильной колонны от датчика момента забойной телесистемы. Число оборотов при достижении крутящего момента низа бурильной колонны запоминается в ПЛК. Дальнейшее управление вращением производится по алгоритму, представленному на рис. 1.

Заданное значение скорости поступает на задатчик интенсивности (ЗИ), ограничивающий время

спада и нарастания скорости, а затем на узел ограничения скорости (УОС), с помощью которого регулируется значение скорости в зависимости от момента на валу системы верхнего привода. За счет УОС в рабочем диапазоне достигается мягкая механическая характеристика электропривода.

Сигнал с УОС поступает на сумматор 1, на второй вход которого поступает сигнал с обратной связи скорости от датчика скорости (ДС). Результирующий сигнал задания скорости подается на регулятор скорости (РС), а затем на узел ограничения момента (УОМ) и регулятор тока (РТ). С учетом динамических характеристик звена регулирования момента РС синтезируется как пропорционально-интегрально-дифференцирующий (ПИД-регулятор), чем достигаются высокое быстродействие по контуру скорости и статическая точность регулирования.

Для обеспечения вращения закрученной бурильной колонны в обратном направлении с постоянной скоростью в системе автоматического управления используется П-регулятор возврата бурильной колонны в исходное положение, реализованный в ПЛК. После достижения необходимого

числа оборотов на вход регулятора скорости подается отрицательный сигнал задания скорости электропривода. Это обеспечит торможение электропривода с темпом, заданным задатчиком интенсивности, до полной остановки и последующий реверс.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенные алгоритм и структурная схема для режима бурения верхним приводом и забойным двигателем позволят предотвратить негативное влияние статического трения на процесс бурения забойным двигате-

лем – поддерживать постоянное движение трубы. Таким образом поддерживается динамическая среда при бурении скважин с большим отклонением от вертикали, автоматизируется процесс поддержания динамической среды. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Прогноз научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://minenergo.gov.ru/node/6366> (дата обращения: 17.01.2019).
2. Никулин О.В. Разработка и исследование частотно-регулируемого синхронного электропривода бурового насоса. М.: Русайнс, 2017. 152 с.
3. Шабанов В.А., Никулин О.В. Об особенностях эксплуатации электрооборудования и средств автоматизации систем верхнего привода // ROGTEC, Российские нефтегазовые разработки. 2016. Вып. 45. С. 40–50.
4. Nikulin O.V. Research Methods and Design of Electrical Systems of Drilling Rigs // Innovations in Technical and Natural Sciences. Vol. 4. Vienna: East West Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, 2017. P. 95–134.
5. Черник В.В. Применение верхнего привода при бурении на установках «УРАЛМАШ 3Д-86» // Вестник ассоциации буровых подрядчиков. 2011. № 4. С. 43–48.
6. Юртаев В.Г., Букин П.Н. Динамическое взаимодействие массы верхнего привода со спуско-подъемной системой буровой установки // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2013. № 12. С. 4–5.
7. Башмур К.А., Петровский Э.А. Динамика системы верхнего привода буровой установки // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2013. № 5. С. 4–7.
8. Чернышов Е.И. Система верхнего привода Bentec // Бурение и нефть. 2012. № 10. С. 58.
9. Хорошанский А. «Промтехинвест» модифицирует линейку систем верхнего привода и развивает направление аренды // Бурение и нефть. 2012. № 6–7. С. 71–72.
10. Южаков Я.В., Георге М.С. Модульный верхний привод // Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы функционирования систем транспорта». Тюмень: ТГНУ, 2012. С. 411–414.
11. Лобачев А.А. Проведение анализа динамической нагрузки на силовой верхний привод в составе буровой установки // Современное машиностроение. Наука и образование. 2016. № 5. С. 831–840.
12. Халиков А.Р., Сулейманов Р.И. Анализ системы верхнего привода буровой установки // Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Современные технологии в нефтегазовом деле-2015». Уфа: УГНТУ, 2015. С. 168–173.
13. Карандей В.Ю., Афанасьев В.Л., Бедетко В.С., Ляшенко А.М. Каскадный управляемый электрический привод как способ модернизации систем верхнего привода бурения // Сборник статей материалов I Международной научно-практической конференции «Булатовские чтения». Краснодар: Юг, 2017. С. 61–65.
14. Никулин О.В., Черный С.Г., Шабанов В.А. Исследование системы верхнего привода буровой установки // Сборник научных трудов III Международной (VI Всероссийской) научно-технической конференции «Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий». Уфа: УГНТУ, 2017. С. 49–57.
15. Басович В.С., Буяновский И.Н., Сапунжи В.В. Перспективы применения легкосплавных буровых труб с наружным спиральным оребрением для бурения горизонтальных скважин и боковых стволов // Бурение и нефть. 2014. № 5. С. 42–46.
16. Mims M., Krepp T., Williams X. Проектирование и ведение бурения для скважин с большим отклонением от вертикали и сложных скважин. Хьюстон: K&M Текнолоджи Груп, ЛЛК, 1999. 227 с.

#### REFERENCES

1. Forecast of the Scientific and Technological Development of the Branches of the Fuel and Energy Complex of Russia for the Period up to 2035 [Electronic source]. Access mode: <http://minenergo.gov.ru/node/6366> (access date: January 17, 2019). (In Russian)
2. Nikulin O.V. Development and Research of Frequency-Controlled Synchronous Electric Drive of a Drilling Pump. Moscow, Rusayns, 2017, 152 p. (In Russian)
3. Shabanov V.A., Nikulin O.V. On the Features of the Operation of Electrical Equipment and Automation of Top Drive Systems. ROGTEC, Russian Oil and Gas Development, 2016, Vol. 45, P. 40–50. (In Russian)
4. Nikulin O.V. Research Methods and Design of Electrical Systems of Drilling Rigs. Innovations in Technical and Natural Sciences. Vol. 4. Vienna, East West Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, 2017, P. 95–134.
5. Chernik V.V. Use of the Top Drive when Drilling on the URALMASH 3D-86 Units. Vestnik assotsiatsii burovyykh podryadchikov = Bulletin of the Association of Drilling Contractors, 2011, No. 4, P. 43–48. (In Russian)
6. Yurtaev V.G., Bukin P.N. Dynamic Interaction of Top Drive Mass with a Round-Trip System of a Drill Unit. Stroitelstvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more = Construction of Oil and Gas Wells Onshore and Offshore, 2013, No. 12, P. 4–5. (In Russian)
7. Bashmur K.A., Petrovsky E.A. Dynamics of Top Drive System of a Drill Unit. Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa = Equipment and Technologies for the Oil and Gas Complex, 2013, No. 5, P. 4–7. (In Russian)
8. Chernyshov E.I. Bentec Top Drive System. Burenie i neft = Drilling and Oil, 2012, No. 10, P. 58. (In Russian)
9. Khoroshansky A. Promtekhinvest Modifies Upper Drive's Systems' Rule and Develops Leasing Direction. Burenie i neft = Drilling and Oil, 2012, No. 6–7, P. 71–72. (In Russian)
10. Yuzhakov Ya.V., George M.S. Modular Upper Drive. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists "Problems of Functioning of Transport Systems". Tyumen, Tyumen State Oil and Gas Institute, 2012, P. 411–414. (In Russian)
11. Lobachev A.A. Analysis of the Dynamic Load on the Power Top Drive as a Part of a Drill Unit. Sovremennoe mashinostroenie. Nauka i obrazovanie = Modern Engineering. Science and Education, 2016, No. 5, P. 831–840. (In Russian)
12. Khalikov A.R., Suleymanov R.I. Analysis of the Upper Drive System of the Drill Unit. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Modern Technologies in the Oil and Gas Business-2015". Ufa, Ufa State Petroleum Technological University, 2015, P. 168–173. (In Russian)
13. Karandey V.Yu., Afanasev V.L., Bedetko V.S., Lyashenko A.M. Cascade Controlled Electric Drive as a Way to Modernize the Top Drive Drilling Systems. Collection of Materials of the 1st International Scientific and Practical Conference "Bulatov' Readings". Krasnodar, Yug, 2017, P. 61–65. (In Russian)
14. Nikulin O.V., Cherny S.G., Shabanov V.A. Study of the Upper Drive System of a Drill Unit. Collection of Scientific Works of the 3rd International (6th All-Russian) Scientific and Technical Conference "Electric Drive, Electrical Technologies and Electrical Equipment of Enterprises". Ufa, Ufa State Petroleum Technological University, 2017, P. 49–57. (In Russian)
15. Basovich V.S., Buyanovsky I.N., Sapunzhi V.V. Prospects for the Use of Light-Alloy Drill Pipes with Outer Spiral Fins for Drilling Horizontal Wells and Sidetracks. Burenie i neft = Drilling and Oil, 2014, No. 5, P. 42–46. (In Russian)
16. Mims M., Krepp T., Williams H. Design and Drilling for Wells with Large Deviations from Vertical and Complex Wells. Houston, K&M Technology Group, L.L.C., 1999, 227 p. (In Russian)